

# 用一个简单海气耦合模式对 20 世纪 90 年代 厄尔尼诺事件的预报试验\*

张 勤 丁汇

(国家气候中心气候研究开放实验室, 北京, 100081)

山崎信雄

(日本气象研究所台风研究部)

## 摘 要

使用一个动力海洋与统计大气耦合的热带太平洋模式, 对 20 世纪 90 年代的厄尔尼诺事件进行了数值模拟和预报。结果表明, 模式能较好地再现 3 次暖事件的发展和演化过程, 也能模拟 1995/1996 年的冷海温过程。预报试验的结果指出, 20 世纪 90 年代发生的厄尔尼诺事件具有其特殊性, 很难在发展阶段作出准确预报, 而一旦形成后, 模式仍可对这类事件的成熟位相阶段作出大致提前 6 个月的有效预报。文中还用该模式对 1997 年的热带太平洋海表温度作了预报试验, 预测 1997 年年底可能发生一次新的厄尔尼诺事件。

关键词: 20 世纪 90 年代厄尔尼诺, 简单海气耦合模式, 预报试验。

## 1 引 言

进入 20 世纪 90 年代, 全球气候出现了明显的异常变化, 重大自然灾害频繁发生。其中最引人注意的是与厄尔尼诺-南方涛动(ENSO 事件)有关的热带太平洋海洋和大气的长时期异常。澳大利亚 90 年代初持续性干旱、中国 1991 年长江中下游地区的特大洪涝以及北美地区 1995 年夏季的严重热浪等都与 ENSO 的异常发展有关。因此, 当前对于厄尔尼诺的预报和研究已不仅是气象学家和海洋学家, 也是各国政府、广大民众所关心的问题, 同时从科学上作为一种强的气候信号, 也是提高短期气候预报准确性的一个重要方面。

从 1990 年至 1997 年 4 月, 热带太平洋海温距平经历了一次特别长的 ENSO 循环过程。暖位相( $SSTA > 0.5$ )持续了大约 5 年半<sup>[1]</sup>, 在这个正海温距平背景下, 出现了 3 次异常增暖期: 即 3 次厄尔尼诺事件<sup>[2]</sup>。第 1 次增温过程发生在 1991 年 4 月至 1992 年 9 月, 持续近一年半, 这是一次比较典型的中等强度的厄尔尼诺事件。间隔仅半年, 各种表征海洋和大气的指标尚未完全恢复正常状态, 1993 年 2 月第 2 次厄尔尼诺事件又发生了, 但它仅仅持续了 5 个月。接着, 海温距平又在 1994 年 11 月至 1995 年 3 月经历了第 3

\* 初稿时间: 1997 年 10 月 13 日; 修改稿时间: 1998 年 3 月 26 日。

资助课题: 九五短期气候预测系统重中之重课题 96-908-02-05 专题和中日季风合作项目。

次增温过程。直至 1995 年 4 月, 热带太平洋海温距平才全面转为负值, 进入冷位相阶段。因此, 从 1990 年初到 1996 年底, 发生了 3 次厄尔尼诺事件和一次反厄尔尼诺事件。特别是这些厄尔尼诺事件之间时间间隔特别短, 后两次持续时间也很短, 与典型的 ENSO 事件有明显的差别。可见 20 世纪 90 年代的热带太平洋海温的变化具有显著的特殊性。可以认为它经历了一次特别长的 ENSO 循环, 其中包含了 3 次较短的厄尔尼诺事件和一次反厄尔尼诺事件。这是本世纪持续时间最长, 同时也导致了严重的气候灾害的 ENSO 事件。

关于 ENSO 的预报研究, 目前已有各种海气耦合模式被用来模拟和预报 ENSO 事件。Zebiak 和 Cane<sup>[3]</sup>(1987) 发展了一个简单的热带太平洋距平海气耦合模式, 并成功地提前 1 a 作出了 1986 年的厄尔尼诺预报。利用大气和海洋 GCM 耦合的完善模式对 ENSO 年际变化性的模拟也取得了重要的进展<sup>[4]</sup>。许多研究机构和业务部门已开始作试验性的 ENSO 预报, 并把它作为短期气候预报的重要依据。如美国 NCEP(美国国家环境预测中心) 每 3 个月公布一次多种模式所做的 ENSO 预报, 其中有统计模式的预报结果, 也有完善的海气耦合 GCM 模式和简单海气耦合模式的预报结果。然而, 20 世纪 90 年代发生的厄尔尼诺事件, 特别是 1993 年和 1994/1995 年的两次都很难预报, 大多数模式的预报都不成功。造成这种预报能力下降或失败的原因还不很清楚, 这是因为目前耦合模式的预报能力有限, 还是 90 年代的厄尔尼诺事件具有其特殊性, 而未了解其规律难以作出准确的预报呢? 这是我们非常关心的问题, 文中在对 1991~1994 年热带太平洋海表温度距平观测资料作了诊断分析后<sup>[5]</sup>, 用牛津大学简单热带太平洋海气耦合模式模拟和预报了 90 年代的厄尔尼诺事件, 以检验模式的预报能力和性能, 之后, 对 1997 年的海温距平作了一次预报试验, 基本上对 1997 年发生的厄尔尼诺事件作出了比较正确的预报。

## 2 模式简介

文中所用模式是热带太平洋地区动力海洋与统计大气耦合模式, 由牛津大学 M. A. Balmaseda 和 D. T. Anderson 等发展。该模式其动力学框架与 Z-C 模式相比有很大不同。它基本上保留了海洋动力方程组中的非线性作用项, 也没有作  $\beta$  平面近似, 它类似于海洋环流模式的结构。模式运行方便, 无严重的气候漂移, 基本上反映了产生 ENSO 的动力和热力过程, 所以能较好地作 ENSO 预报。下面仅对该模式作一简单介绍(详细情况读者可以参考文献[6])。

### 2.1 海洋模式

海洋模式取两层活动层, 包含完全的非线性动力过程和热力过程, 如水平平流项、垂直输送项、扩散项等。第 1 层表面热通量, 取自 Oberhuber 的气候平均值加上一个海温的松弛项。

模式方程为:

$$\left[ \frac{\partial}{\partial t} + u_i \frac{\partial}{\partial x} + v_i \frac{\partial}{\partial y} + f_i \right] h_i V_i = \frac{-h_i}{\rho_0} P_i + M_i(\epsilon) + \frac{T}{\rho_0} + \gamma h_i V_i \quad (1)$$

$$\left[ \frac{\partial}{\partial t} + u_i \frac{\partial}{\partial x} + v_i \frac{\partial}{\partial y} \right] h_i = -(-1)^i \epsilon + \zeta \Delta^2 h_i \quad (2)$$

$$\left[ \frac{\partial}{\partial t} + u_i \frac{\partial}{\partial x} + v_i \frac{\partial}{\partial y} \right] T_i = Q_s + H_i(\epsilon) + \kappa \cdot T_i \quad (3)$$

这里  $i = 1, 2$  是指海洋的层次。  $V = (u, v)$  是水平洋流速度,  $P_i$  是压力,  $h_i$  是海洋的深度,  $T_i$  是海温,  $\epsilon$  是混合参数,  $Q_s$  是表面热量通量,  $M_i$  和  $H_i$  分别是动量和热量的垂直交换项,  $\chi, \zeta, \kappa$  分别是动量、质量和热量的扩散系数。  $\tau = (\tau_x, \tau_y)$  是风应力, 表面热通量和风应力仅仅作用在第 1 层海洋上。 第 2 层以下的海洋看作是静止海洋, 温度取为常数  $T_3 = 5$ 。 混合速度采用参数化方法 (McCready 和 Kundn<sup>[7]</sup>, 1988) 并作了一些改进, 以保证总动量和热量严格守恒。 由海洋各层的参考深度决定两层之间的质量交换、动量交换和热量交换:

$$M_i(\epsilon) = \begin{cases} -(-1)^i \epsilon (v_2 - v_1) & \text{如果 } \epsilon > 0 \text{ (上翻)} \\ -(-1)^i \epsilon (v_1 - v_2) & \text{如果 } \epsilon < 0 \text{ (下沉)} \end{cases} \quad (4)$$

$$H_1(\epsilon) = \begin{cases} -\epsilon (T_1 - T_2) / h_1 & \epsilon > 0 \\ -\epsilon (1 - r) (T_1 - T_2) / h_2 & \epsilon < 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$H_2(\epsilon) = \begin{cases} -\epsilon (1 - r) (T_1 - T_2) / h_2 & \epsilon > 0 \\ -\epsilon (T_1 - T_2) / h_2 & \epsilon < 0 \end{cases} \quad (6)$$

其中  $r = 0.75$  是控制垂直温度梯度效应的参数。

模式采用 C 格式计算, 格距为  $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ ; 范围是从  $30^\circ \text{S}$  至  $30^\circ \text{N}$  纬度,  $123^\circ \text{E}$  至  $69^\circ \text{W}$  经度, 时间步长是 2 h, 并采用闭合边界条件积分。

## 2.2 大气模式

统计大气模式是由动力海洋模式用 1961~1991 年 FSU 实测风应力强迫下运行 31 a 后得到的。 假设风应力距平与海洋的物理变量, 如海温或热含量等存在着线性响应的关系, 则通过风应力强迫运行 31 a 可得到在最小二乘法下的风应力距平 ( $\tau$ ) 与海洋变量的线性回归方程组。

$$\tau(x, t) = \sum_{k=1}^n M(x, k) F(k, t) \quad (7)$$

这里,  $x$  是空间变量,  $t$  是时间参数,  $M$  是线性回归矩阵,  $F$  是海洋预报因子, 这里矩阵的第  $k$  列代表了回归参数的空间分布, 由风应力所产生的伴随矩阵代表了海洋中第  $k$  个预报因子, 该模式取海洋变量为 SST。 为了突出与 ENSO 相关的变量场, 先对风场作一适当滤波, 并用 EOF 展开前 10 个分量再合成, 从海表温度可由大气模式计算出相应的风应力距平, 从而建立起大气和海洋之间的相互反馈关系。

## 2.3 耦合模式和初始条件

模式在气候平均的风应力和表面热通量的强迫下由静止海洋进行积分 10 a。 观测的风应力场包含了季节变化。 如前所述, 表面热通量由 Oberhuber 的热通量加上松弛项, 其形式为:

$$Q_s = Q^0 + \lambda(T - T_0)$$

这里  $T$  是模式 SST,  $Q_0$  和  $T_0$  是气候平均热通量和 SST,  $\lambda$  是模式的海表温度和观测值之差的比系数。

初始值为  $h_1 = 100 \text{ m}$ ,  $h_2 = 115 \text{ m}$ ,  $T_2 = 16$  和  $T_1 = 22 + 8\cos^2(\pi y/30)$ , 这里  $y$  是纬度值, 下标 1, 2 代表了模式的层次。

海洋模式运行 10 a 后, 就可以得到一个基本稳定的气候平衡态, 然后与大气模式耦合, 该模式在月平均风应力作用下积分了 30 a。模式在气候月平均的外部场强迫下, 海气耦合系统内部产生了周期约为 4 a 的年际变化, 并且无严重的气候漂移<sup>[8]</sup>。

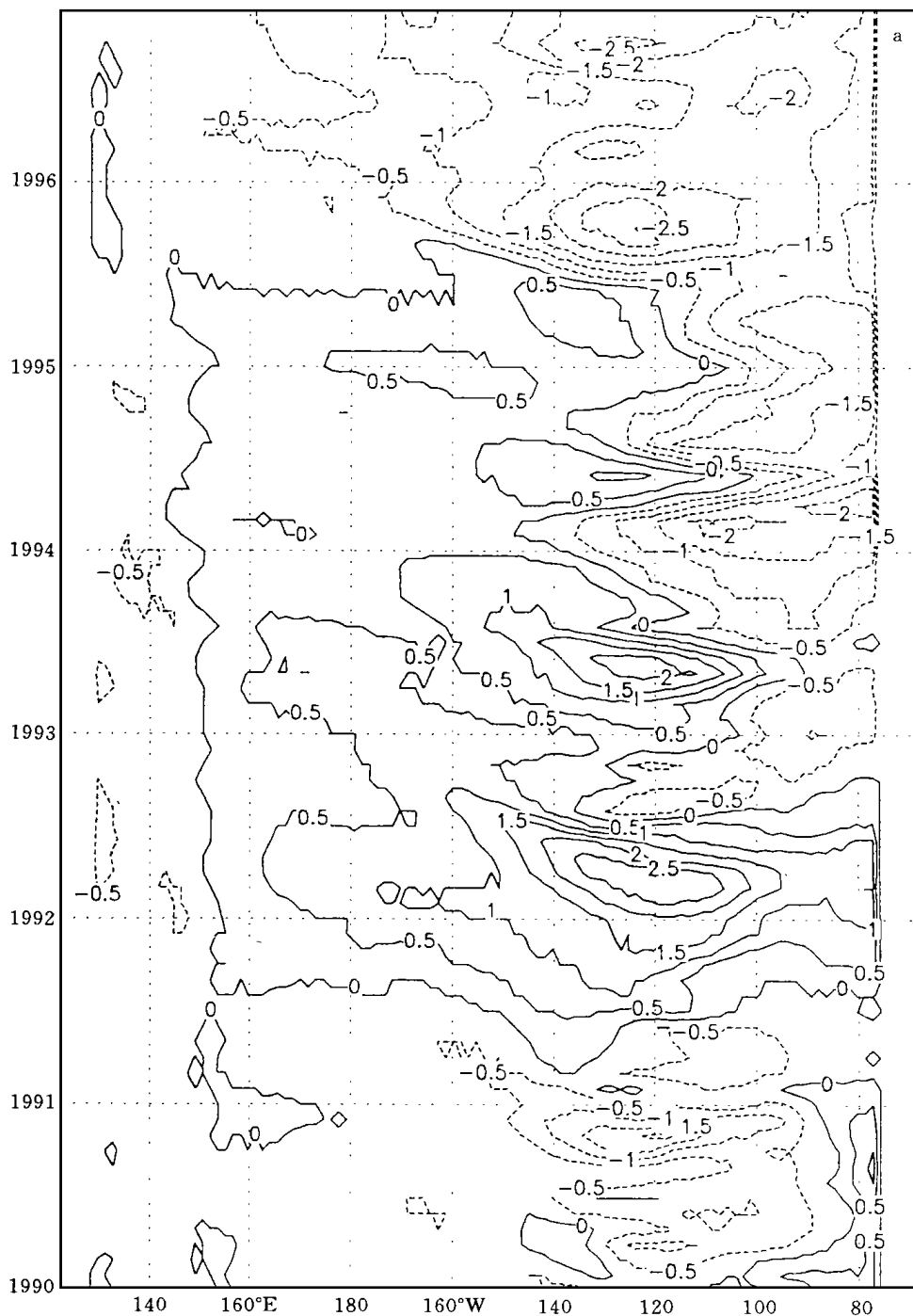
### 3 模式模拟性能的检验

为了检验模式对厄尔尼诺事件的模拟能力, 特别是对 20 世纪 90 年代厄尔尼诺事件的模拟, 首先用 1961 ~ 1991 年 FSU 观测风应力资料推动海洋模式。从模式模拟的海温尼诺指数(虚线)与实际观测的尼诺指数(实线)的比较<sup>[6]</sup>, 可以看到, 模式对主要的几次厄尔尼诺过程都模拟得较好。如 1966 年, 1972/1973 年, 1982/1983 年以及 1986 年, 只是位相略为落后, 冷事件不如暖事件模拟得好, 个别年份强度偏大。

图 1a 是 1990 ~ 1996 年模拟的赤道海温距平的剖面图。3 次连续发生的暖事件都模拟出来了, 其中第 1 次强度与实际最为接近, 第 2、3 次厄尔尼诺过程也基本上模拟出来了, 只是第 3 次增温过程模拟的强度较弱。1995 ~ 1996 年冷水过程的模拟强度略为偏强一些。模式热含量距平的赤道剖面图中也清楚地表现了 3 次暖水过程和 1 次冷水过程中东西热带太平洋热含量的传输过程, 与观测值(图 1b)吻合得较好。热含量的变化从一个侧面反映了开尔文波和罗斯贝波在热带海洋的传播特征。在这次 ENSO 循环暖位相阶段, 热带西太平洋热含量距平一直为负值, 说明有热量向热带中、东太平洋输送。直至 1995 年下半年才转为正值区, 有剩余的热量在此积累。热带东太平洋从 1990 年至 1995 年基本保持了正热含量距平。3 个正值中心对应 3 次厄尔尼诺事件。但是热带东太平洋却在 3 次厄尔尼诺的间隔期出现两次负距平。这正好与观测中所发现的两次夭折的弱冷水过程相对应。但模式未能模拟出海温场中这两个过程的细节, 即在海温距平的水平分布中, 没有狭窄的冷舌分布型。

模式给出了 3 次厄尔尼诺事件和 1 次反厄尔尼诺事件高峰期模拟的海温距平的水平分布, 与观测资料比较, 可以看到赤道东太平洋的海温模拟得比较好。其中 1992 年 4 月模拟的 SSTa 的水平分布, 代表了第 1 次厄尔尼诺成熟位相。在赤道东太平洋 SSTa 的中心极大值达到了 2.5, 整个热带太平洋几乎都是正海温距平。无论是量级还是分布范围都与实际观测值很接近。模拟的 1993 年 7 月的 SSTa 水平分布, 代表了第 2 次厄尔尼诺的峰值期, 主要的暖中心位于赤道中太平洋。而赤道东太平洋则有负海温距平, 这与观测也较吻合, 只是强度比观测值小些。1995 年 1 月是第 3 次暖事件的 SSTa 分布。这次模拟得不太好, 在赤道中太平洋有大约 0.5 的正距平, 比起观测值(3)小得多。这可能与这次比较特殊的增温过程有关。它与前一次厄尔尼诺的间隔如此之短, 同时持续时间也短暂, 许多模式对这次过程都很难模拟得比较好。是 1996 年 4 月代表 ENSO 循环冷位相的 SSTa 水平分布, 中心位置和范围都模拟出来了, 只是偏冷了一些, 这也是该模式存在的一个问题, 即对冷事件模拟偏强。

海洋模式对 1990~1996 年模拟的热含量水平分布(图略)也有类似结果。根据以往的分析,该模式的热含量距平变化可以标志海洋上层能量的积累和传播过程,还可以反映出赤道开尔文波的传播和反射特征。因此该物理量对于研究厄尔尼诺的形成机制很重要。与图 2 对应,分别取代表 3 次厄尔尼诺成熟位相和一次反厄尔尼诺的热含量分布,可以看到



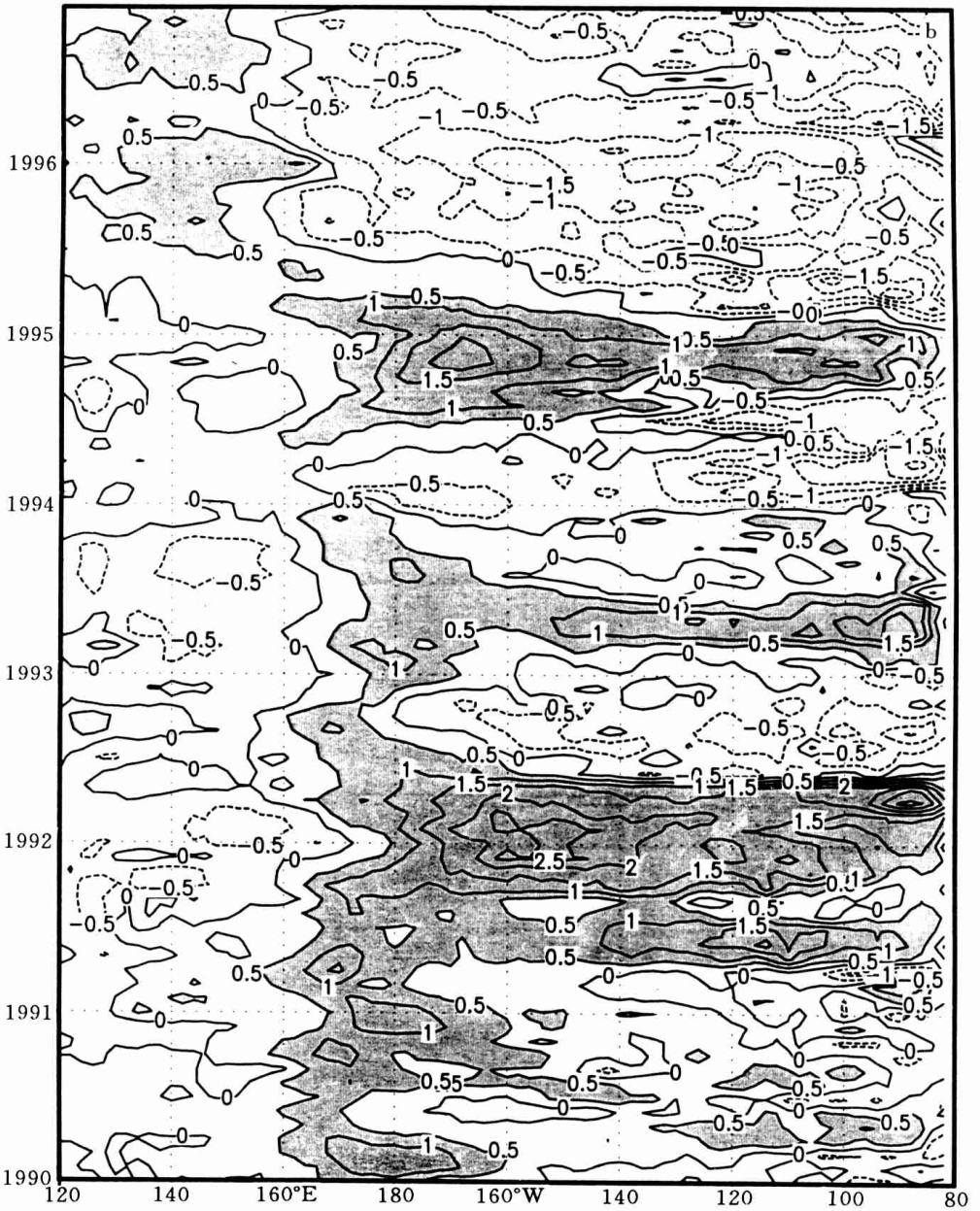


图1 1990~1996年赤道海温距平剖面图

(a. 模拟值; b. 观测值. 单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

3次增温时期的热含量在热带西太平洋为负距平区,东太平洋为正距平区。对应了3次厄尔尼诺期间东太平洋热含量增加,西太平洋热含量减少的过程,其中第3次增温过程的特点比SST A表现的特点更为清楚,其强度和分布与第2次非常类似。后两次厄尔尼诺事件都是在前一次接近恢复到正常状态后,预计要发生位相改变,产生反厄尔尼诺时,又出乎意料之外地发生了暖位相。所以这两次过程的特点与典型的厄尔尼诺不同,不仅在周期上

间隔短,持续时间亦短,在动力学特征上也有不同的表现,在 1991~1995 年初的整个暖位相期间,热含量的演变不能清楚的看到开尔文波的传播过程,相反驻波的形式占主导地位,即始终保持了热带西太平洋的正距平和东太平洋的负距平分布,只是强度有所变化,直到 1996 年该分布的位相才逆转。

从以上的结果可以看到,该模式能够比较真实地再现历史上的厄尔尼诺事件,特别是较好的模拟了 90 年代 3 次厄尔尼诺和一次反厄尔尼诺事件,说明该模式包括了厄尔尼诺发生、发展的主要动力学和热力学过程,具有较强的模拟能力。

#### 4 海气耦合模式的预报性能检验

为了检验热带太平洋动力海洋和统计大气耦合模式对厄尔尼诺的预报能力,我们对历史上的厄尔尼诺作了事后预报。预报试验是这样进行的:首先由海洋模式在实际风应力的推动下积分到所要开始预报的月份,得到相应的初始场,然后用耦合模式积分运行两年,得到预报值。在试验中还采用了集合预报的方法,即用 5 个不同的初始场作预报,以减少初始条件对模式的影响。

关于该模式对 20 世纪 90 年代以前的厄尔尼诺事件的事后预报结果文献[6]中已给出了 20 个例和模式的预报技巧。动力海洋和包含季节变化的统计大气耦合模式对于厄尔尼诺 3 指数计算的预报相关技巧以及与  $Z-C$  模式和持续性预报技巧的比较,同时相关接近 0.75,超前 3 个月的相关系数为 0.7,超前 6 个月至 20 个月的预报值与实际值的相关系数仍保持在 0.5 以上。此后,相关系数急剧下降,可见该模式对 SSTA 的预报时限是 20 个月左右。另一方面,由于春季预报障碍的影响,模式的初始场选在不同的季节,预报相关系数不一样。春季开始的预报技巧最低,超前 3 个月的预报相关系数已下降到 0.6,超前 6 个月的预报相关系数已下降到 0.4。夏季开始的初始场预报持续相关最高,超前 1 a 的预报一直保持在 0.7 以上,而用秋季的初始场作预报对于超前半年的预报相关系数达到最高为 0.9,冬季的预报技巧比春季略有提高,有效预报时效可达到 6 个月,相关系数 0.6。

从上面的分析可以看出,该模式基本上正确刻画了厄尔尼诺动力过程和热力过程,不但能在月平均气候边界条件下,模拟出周期接近 4 a 的年际振荡,而且具有提前 1 a 左右对热带太平洋海温的预报能力。

但是,20 世纪 90 年代的厄尔尼诺事件具有明显的特殊性,特别是 1993 年,1994/1995 年两次过程是非典型的厄尔尼诺事件,这给预报带来了极大的困难。对于这类厄尔尼诺,模式能否预报?能否超前几个月作出预报?这是人们感兴趣的问题。为此用模式对 90 年代以后的 3 次厄尔尼诺事件和 1 次反厄尔尼诺事件作了事后预报,结果如图 2 所示,其中实线是模式厄尔尼诺指数的模拟值,虚线是观察值,其它 5 条曲线是 5 个不同月份作初始场的集合预报。对 1992 年厄尔尼诺事件的事后预报(图 2a)从 1991 年 1 月起的 5 个月作初始场,对 1993 年厄尔尼诺事件的事后预报(图 2b)初始场从 1992 年 3 月起,图 2c 的初始场开始预报时间是 1994 年 1 月,以期能对于 1994/1995 的暖事件作预报,图 2d 是对 1996 年冷海温位相作了事后预报,初始场从 1995 年 1 月起,从这 4 个预报个例来看,其结果有以下几点值得注意:(1)模式的响应对初始场的变化是比较稳定的,不像有些模式那样十分敏感,5 次集合预报的发展趋势比较接近。(2)模式对 20 世纪 90 年代 3 次

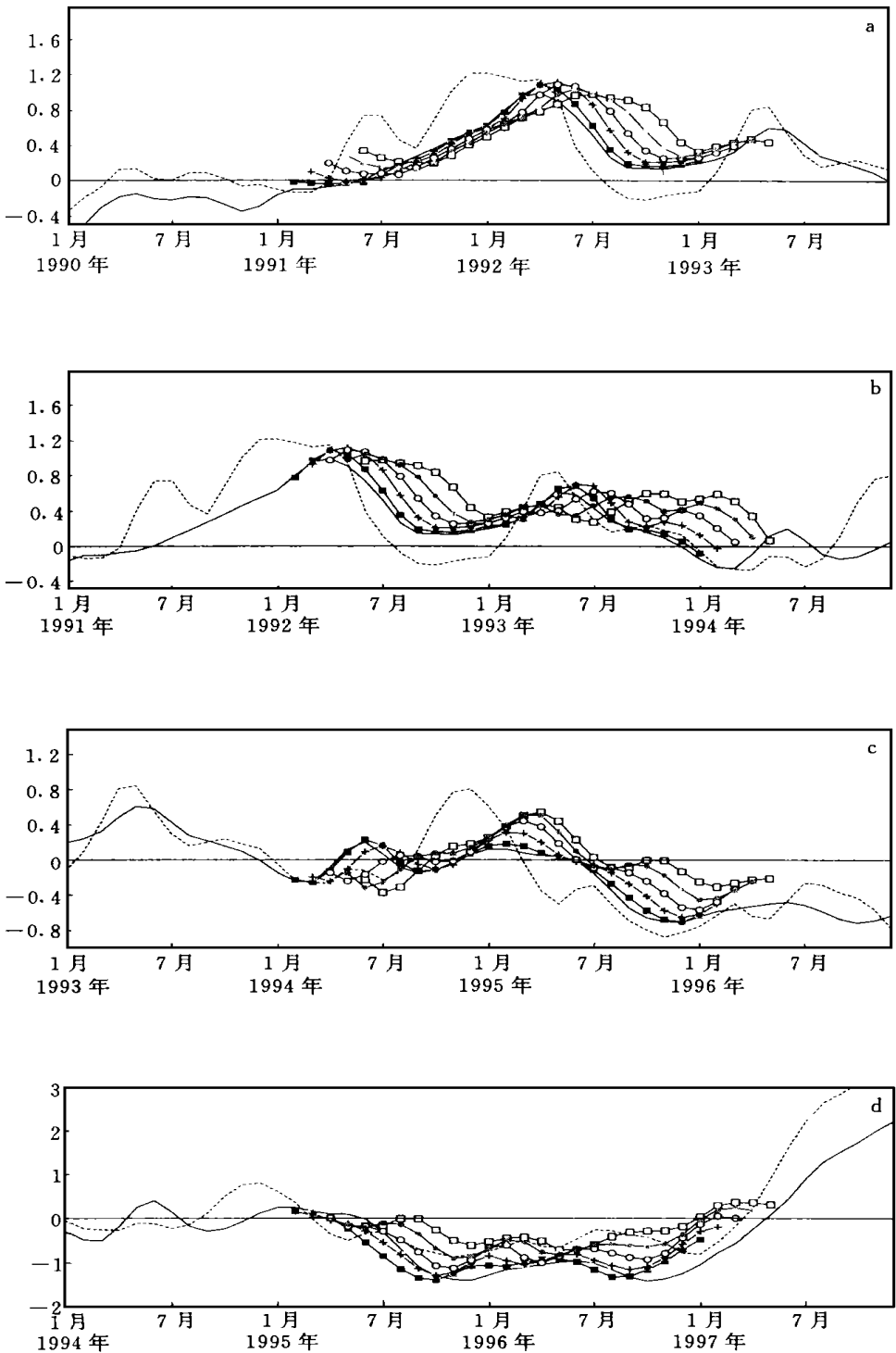


图2 模式对90年代3次厄尔尼诺事件和1次反厄尔尼诺事件作了5个月的事后集合预报  
(a. 初始场从1991年1月起; b. 初始场从1992年3月起; c. 初始场从1994年1月起; d. 初始场从1995年1月起)



厄尔尼诺成熟位相的预报比较成功, 与模拟值相当一致, 但是在开始的发展阶段预报厄尔尼诺发生的趋势比较难, 这可能与 20 世纪 90 年代发生的厄尔尼诺具有其特殊性有关。

(3) 预报的有效时间明显偏短, 平均而言, 超前 6 个月预报与模拟值相关系数在 0.5 以上, 与实际观测的相关系数更低。表 1 给出了这 4 次事后预报的准确率是比较低的, 一方面表现在预测的相关系数下降, 另一方面, 对厄尔尼诺事件的超前预测时间缩短, 说明 20 世纪 90 年代的厄尔尼诺事件具有发生的特殊性, 确实给预报带来了很大的困难。

表 1 尼诺 3 指数的观测值与预报值的比较

时间	1991 年		1992 年									
	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
观测	0.88	1.12	1.28	1.35	1.3	1.2	1.08	0.83	0.7	0.63	0.55	0.53
预报	1.3	1.1	0.8	1.1	1.4	0.9	0.6	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1

时间	1993 年										1994 年	
	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
观测	0.1	0.5	0.9	0.6	0.53	0.4	0.3	0.18	0.1	0.05	0.1	0.06
预报	0.1	0.8	1.2	1.0	0.9	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.1	-0.3

时间	1994 年										1995 年	
	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
观测	-0.3	-0.1	0.3	0.6	0.3	0.4	0.4	0.8	1.2	1.1	0.7	0.5
预报	0.28	0.41	0.43	0.41	0.31	0.23	0.23	0.3	0.38	0.53	0.68	0.75

时间	1995 年					1996 年						
	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月
观测	0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.4	-0.5	-0.4	0.0	0.3
预报	0.2	0.15	0.15	0.05	-0.03	-0.15	-0.26	-0.4	-0.4	-0.4	-0.35	-0.33

## 5 对 1997 年海温距平的试验预报

热带太平洋海温的变化不仅对热带地区, 而且对中国的季风气候及降水也有显著影响<sup>91</sup>。由于厄尔尼诺是热带大气年际变率中最强的信号, 它已成为短期气候预报的一个重要依据。美国 NCEP 已在这方面作了有益的尝试, 他们先利用简单或完善的海气耦合模式第 1 步预报出热带东太平洋的海温距平, 再代入大气模式中作中长期预报。中国短期气候预测系统研究课题的目标之一就是建立一个能预测 ENSO 年际变化的模式系统。为此这里使用这个简单的海气耦合模式在 1997 年 2 月对 1997 年的海温作了一次试预报, 模式的初始预报时刻分别从 1996 年 8、9、10、11、12 月开始, 海洋模式在 FSU 实际观测风应力的驱动下运行到预报时刻。耦合模式预报试验全部积分 24 个月, 图 3 是模式集合预报尼诺指数 3 的演变曲线(该图提供于 1997 年 4 月初举行的 1997 年中国旱涝预报会商会)。预报值从 1997 年 1 月起向后预报 12 个月, 预报曲线可分为 3 个阶段, 第 1 阶段是尼诺指数 3 转为正位相, 从 1997 年 1 月至 4 月, 海温约上升 1, 由负海温距平转为正海温

距平;第2阶段是一个缓慢的调整时期,4~6月尼诺指数3维持在0.3左右;第3个阶段是海温的急剧上升期,到1997年年底,尼诺指数3达到峰值,一次成熟的厄尔尼诺事件

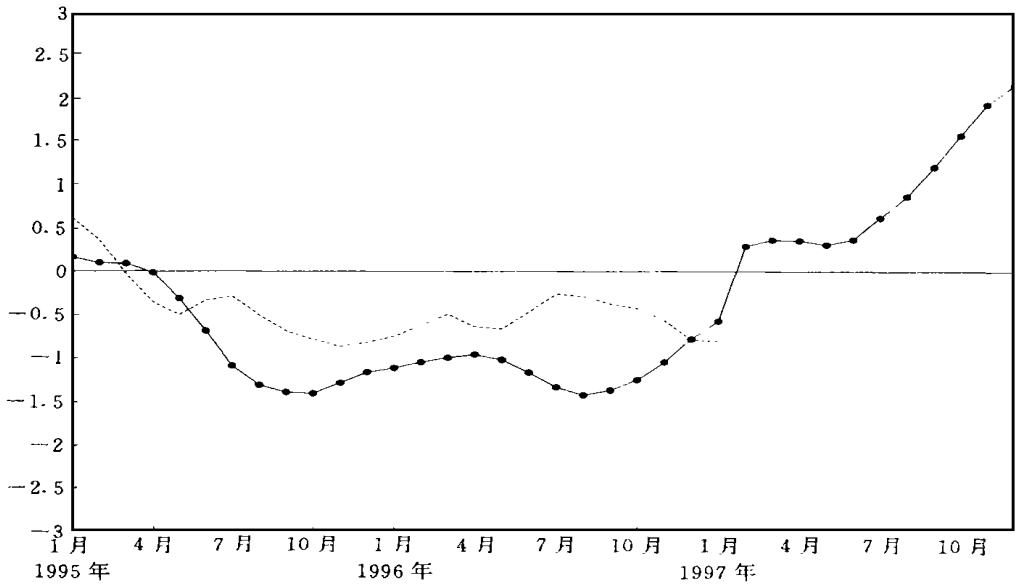


图3 模式对1997年的尼诺指数3作的试预报  
(初始场是1997年1月)

可能发生。图4分别是超前3个月、6个月、9个月和12个月海温距平水平分布,可以看到原来持续了一年半左右的负海温距平向正常状态恢复,在1997年年初仍然保持负海温距平(图4a),3个月后,海温距平转为暖位相(图4b)。然后海温有迅速上升的趋势(图4c),到年底基本上已形成了较成熟的厄尔尼诺暖位相的分布(图4d),作者成文时(1997年6月)已经获悉整个热带太平洋的海温距平已超过0.5,并且升温极快,在中南美洲沿岸SSTA已达4以上,这似乎是一次迅速发展的厄尔尼诺事件。

## 6 结 论

通过以上的讨论可以得到下面的几点结论:

(1) 该模式的动力海洋框架中包含了厄尔尼诺的基本过程,所以模式能较好地模拟出历史上已经发生的厄尔尼诺事件,对20世纪90年代比较特殊的3次厄尔尼诺事件也能模拟出来,说明该模式具有较好的模拟能力。

(2) 动力海洋和统计大气耦合的模式,通过对历史上厄尔尼诺事件的事后预报结果表明,模式具有对热带太平洋海温距平的预报能力,模式的预报技巧特别是持续半年至一年时超过外推和统计预报。

(3) 对20世纪90年代3次厄尔尼诺和1次反厄尔尼诺事件的事后预报试验反映了模式对特殊类型的厄尔尼诺具有一定的预报能力,但不及典型的厄尔尼诺事件预报技巧高。一方面在其发展阶段预报能力下降,另一方面是预报的时效明显偏短,有效预报只能达到6个月左右。

(4) 用 1996 年的观测风应力资料比较成功地预报了 1997 年 1~4 月海温由负距平转为正距平的趋势。对于 1997 年已处于发展阶段的厄尔尼诺作了比较好的预测, 并且预计 1997 年年底将会达到成熟位相。

总之, 该热带太平洋动力海洋和统计大气耦合的简单模式, 对厄尔尼诺具有较好的模拟和预报能力, 当然由于模式的高度参数化和简化处理, 对厄尔尼诺变化的细节描述得还不够。另外, 热带西太平洋地区也不如中东太平洋模拟得好。对于 1997 年的海温预报, 需要进一步检验。我们正继续作预报试验, 并改进模式, 以期达到比较准确地预报热带太平洋海温年际变化、预报厄尔尼诺事件的目标。

## 参考文献

- 1 Grant R B. The El Niño event of 1991–1994. *Weather*, 1995, 59: 117–124
- 2 李清泉, 丁一汇. 1991~1995 年 El Niño 事件的特征及其对中国天气气候异常的影响. *气候与环境研究*, 1997, 2(2): 163~177
- 3 Zebiak S E, Cane M A. A model EL Niño-southern oscillation. *Mon Wea Rev*, 1987, 115: 2262–2278
- 4 Graham N E, Barnett T P, Wilde R M, et al. On the roles of tropical and midlatitude SST in forcing interannual to intradecadal variability in the winter Northern Hemisphere circulation. *J Climate*, 1994, 7: 1416–1441
- 5 张勤, 丁一汇, 周琴芳. 对 1991~1994 年 El Niño 的异常特征的诊断研究. *气象学报*, 1997, 56(5): 573~583
- 6 Balmaseda M A, Anderson D L T, Davey M K. ENSO prediction using a dynamical ocean model coupled to statistical atmospheres. *Tellus*, 1994, 46A: 497–511
- 7 McCreary J P, Kundu P K. A numerical investigation of the Somali current during the southwest monsoon. *J Mar Res*, 1988, 46: 25–58
- 8 Zhang Qin, Haines Keith. Numerical study on dominating factor and key area of El Niño cycle formation. *Acta Meteor Sinica*, 1997, 11: 176–186
- 9 叶笃正, 黄荣辉等. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究. 济南: 山东科技出版社, 1996. 384